

# METHOD OF CRYSTALLIZING SEMICONDUCTOR THIN FILM

Patent number: JP4102311  
 Publication date: 1992-04-03  
 Inventor: SAMEJIMA TOSHIYUKI; others: 03  
 Applicant: SONY CORP  
 Classification:  
 - International: H01L21/20; H01L21/268  
 - European:  
 Application number: JP19900220604 19900822  
 Priority number(s):

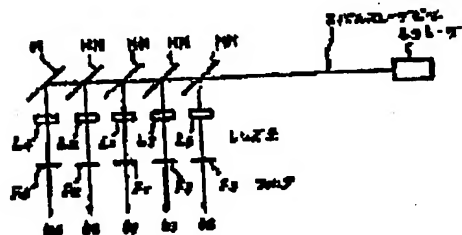
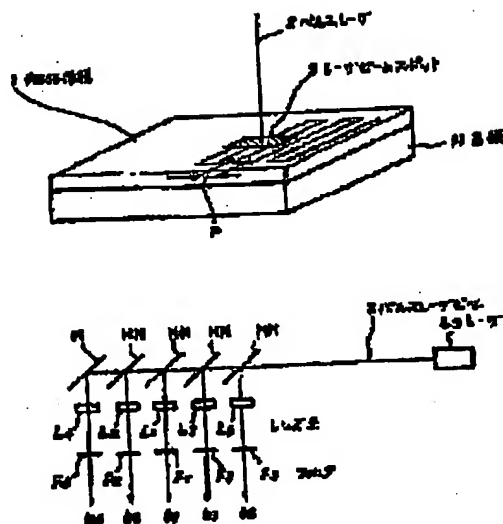
Also published as:

US5146808 (A)

## Abstract of JP4102311

**PURPOSE:** To obtain, with good reproducibility, a semiconductor thin film whose electric characteristic is good and which has been crystallized reliably by a method wherein the distribution of an irradiation laser energy density is set to be stepwise and specific in a stepwise scanning direction.

**CONSTITUTION:** A semiconductor thin film is formed on a substrate 11; the thin film 1 is irradiated with a pulse laser 2; and the thin film 1 is crystallized by a melting method. When the thin film 1 is irradiated with the laser 2, e.g. a zigzag scanning operation is executed by a scanning operation in the x-direction and a stepwise scanning operation in the y-direction. The energy density of a beam spot S regarding individual beam spots b1 to b5 is increased gradually in the x-direction from the front of the x-direction toward the central part when individual transmission distributions of filters F1 to F5 are selected properly. Thereby, a stepwise or mountain-shaped distribution in which the energy density is lowered gradually toward the rear is obtained. Thereby, when a volatile substance exists in the thin film 1, the thin film is crystallized so as to be a more excellent film quality because its sudden volatilization can be changed to a gentle volatilization.



Data supplied from the esp@cenet database - Patent Abstracts of Japan

2004/12/24

⑩ 日本国特許庁(JP) ⑪ 特許出願公開  
⑫ 公開特許公報(A) 平4-102311

⑬ Int. Cl.<sup>4</sup>  
H 01 L 21/20  
21/288

識別記号 庁内整理番号  
B 9171-4M  
7738-4M

⑭ 公開 平成4年(1992)4月3日

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全7頁)

⑮ 発明の名称 半導体薄膜の結晶化方法

⑯ 特 願 平2-220604  
⑰ 出 願 平2(1990)8月22日

⑱ 発 明 者	鮫 島 俊 之	東京都品川区北品川6丁目7番35号	ソニー株式会社内
⑱ 発 明 者	原 昌 輝	東京都品川区北品川6丁目7番35号	ソニー株式会社内
⑱ 発 明 者	佐 野 直 樹	東京都品川区北品川6丁目7番35号	ソニー株式会社内
⑱ 発 明 者	碓 井 郎 夫	東京都品川区北品川6丁目7番35号	ソニー株式会社内
⑲ 出 願 人	ソニー株式会社	東京都品川区北品川6丁目7番35号	
⑳ 代 理 人	弁理士 松隈 秀盛		

明 細 書

発明の名称 半導体薄膜の結晶化方法

特許請求の範囲

半導体薄膜に対しパルスレーザを照射して半導体薄膜の結晶化を行う溶融法による半導体薄膜の結晶化方法において、

上記半導体薄膜に対するパルスレーザの照射を第1の方向に対する走査とこれと直交する第2の方向に関するステップ走査とによって行い、

上記パルスレーザは、上記半導体薄膜におけるスポットの上記第2の方向に関するエネルギー密度分布が、それぞれ上記ステップ走査のステップピッチより小なる幅で中心部から両側に向かって小となる複数の段階的分布の各段階部を形成する複数のレーザビーム部より成り、

上記中心部の第1のレーザビーム部のエネルギー密度 $E_{01}$ は、上記半導体薄膜を非晶質化するレーザエネルギー密度のしきい値 $E_{0i}$ 以上で、半導体が結晶化されるエネルギー密度 $E_c$ より小なるエネルギー密度に選定され、

上記第1のレーザビーム部より上記ステップ走査方向の前方側の第2のレーザビーム部のエネルギー密度 $E_{02}$ は、上記半導体薄膜を溶融化するエネルギー密度 $E_{0n}$ より小さいエネルギー密度を有し、

上記第1のレーザビーム部より上記ステップ走査方向の後方側の第3のレーザビーム部のエネルギー密度 $E_{03}$ は、上記溶融化エネルギー密度 $E_{0n}$ 以上で上記しきい値 $E_{0i}$ より低く、かつこれにできるだけ近い値に選定されて成ることを特徴とする半導体薄膜の結晶化方法。

発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は半導体薄膜の結晶化方法、特に半導体薄膜に対しパルスレーザを照射して半導体薄膜の結晶化を行う溶融法による半導体薄膜の結晶化方法に係わる。

(発明の概要)

本発明は、半導体薄膜に対しパルスレーザを照

射して半導体薄膜の結晶化を行う熔融法による半導体薄膜の結晶化方法において、半導体薄膜に対するパルスレーザの照射を第1の方向に対する走査とこれと直交する第2の方向に関するステップ走査とによって行い、そのパルスレーザのスポットの上記第2の方向に関するエネルギー密度分布を中心部から両側に向かって小となる複数の階段的分布を形成するように、その各階段部を形成する複数のレーザビーム部を設けると共に、その中心部の第1のレーザビーム部のエネルギー密度 $E_{01}$ を、 $E_{011} \leq E_{01} < E_{02}$ に選定し、この第1のレーザビーム部よりステップ走査方向の前方側の第2のレーザビーム部のエネルギー密度 $E_{02}$ を、 $E_{02} < E_{01}$ に選定し、更に第1のレーザビーム部よりステップ走査方向の後方側の第3のレーザビーム部のエネルギー密度 $E_{03}$ を、 $E_{03} \leq E_{01} < E_{011}$ でかつこれにできるだけ近い値に選定する。ここに、 $E_{011}$ は半導体薄膜を非晶質化するレーザエネルギー密度のしきい値エネルギー密度で、 $E_{02}$ は半導体薄膜を粗面化するエネルギー密度、

を回避する方法が開示されている。しかしながら、この方法による場合においても必ずしも電気的特性すなわちキャリアの移動度が大なる半導体薄膜を形成することができない場合が生じている。

(発明が解決しようとする課題)

本発明においては、膜質に優れたキャリア移動度等電気的特性に優れた半導体薄膜の結晶化方法を提供する。

すなわち、本発明においては、水素等の揮発性物質を含む、或いは含まない半導体薄膜に対して上述した熔融結晶化方法をとるとき、その照射レーザのエネルギー密度が或る値より大きくなると熔融後に固相化した半導体薄膜が非晶質化すなわちアモルファス化し、上述した例えば $a\text{-Si:H}$ に対してそのレーザ照射を、半導体薄膜中の揮発性物質例えば水素の蒸発が急激に行われないうように実質的に徐々に照射エネルギーが高められるように考慮したとしても目的とする特性を有する結晶化が得られない場合があること、更に結晶化が得ら

$E_{03}$ は半導体薄膜を熔融化するエネルギー密度で、このようにすることによって良好な膜質状態を有し、優れた電気的特性を有する結晶化半導体薄膜を確実に得ることができるようになる。

(従来の技術)

各種半導体素子回路において、例えば水素化非晶質シリコン( $a\text{-Si:H}$ )あるいは水素化ゲルマニウム( $a\text{-Ge:H}$ )等の半導体薄膜に対してパルスレーザを照射することによってこの半導体薄膜を熔融-固化して結晶化する技術はキャリアの移動度の大なる薄膜トランジスタ等の低温で作製する技術として注目されている。

例えば特開昭64-76715号公開公報に開示された多結晶半導体薄膜の製造方法においては、ガラス基板上に設けられたシリコンを含有する水素化非晶質半導体薄膜にレーザ光を照射して多結晶化する場合において、そのレーザビーム内の強度分布を横方向に台形状とすることによって半導体薄膜内に含まれる水素の急激な蒸発による膜質低下

れる状態では、できるだけこの結晶化できる範囲内で高エネルギー密度での熔融が望ましいこと、加えて膜厚が低い範囲では、一旦高エネルギー密度による熔融-固化を行っても再び、或るしきい値エネルギー密度、具体的には非晶質を生じさせる $E_{011}$ 以下で、かつできるだけ $E_{011}$ に近いエネルギー密度の熔融がなされて得られた半導体薄膜はすぐれた膜質したがって電気的特性を有することを究明し、これに基いて確實、良好に半導体薄膜の結晶化を行うことができるようにしたものである。

(課題を解決するための手段)

本発明は、第1図に示すように半導体薄膜(1)に対しパルスレーザ(2)を照射して半導体薄膜(1)の結晶化を行う熔融法による半導体薄膜の結晶化方法において、半導体薄膜(1)に対するパルスレーザ(2)の照射を第1の方向 $x$ に対する走査すなわち掃引照射と、これと直交する第2の方向 $y$ に関するステップ走査とによる例えばジグザグないしは $x$ 方

向に関して同一向きの平行掃引を行う。そして、特にそのパルスレーザ(4)は、第2図Aに半導体薄膜(1)におけるそのスポットSを示し、その第2の方向Yに関するエネルギー密度分布を第2図Bに示すように、ステップ走査のステップピッチPより小なる幅Wで、中心部から両側に向って小となる複数の階段状の分布の各階段部を形成する複数のレーザビーム部 $b_1, b_2, b_3$ により構成する。

そして、その中心部の第1のレーザビーム部 $b_1$ のエネルギー密度 $E_{01}$ は、半導体薄膜(1)を非晶質化するレーザエネルギー密度のしきい値 $E_{010}$ 以上で、半導体薄膜(1)を粗面化するエネルギー密度 $E_{02}$ より小に、すなわち

$$E_{010} \leq E_{01} < E_{02} \quad \dots (1)$$

に選定する。

また第1のレーザビーム部 $b_1$ よりステップ走査方向Yの前方側の第2のレーザビーム部 $b_2$ のエネルギー密度 $E_{02}$ は、半導体薄膜(1)の熔融化するエネルギー密度 $E_{03}$ より小さい、すなわち

$$E_{02} > E_{03} \quad \dots (2)$$

度が比較的大きいエネルギー密度 $E_{03}$ を有する第3のレーザビーム部 $b_3$ が走査することによって一旦非晶質化された半導体薄膜(1)が結晶化されしかもこの結晶化された半導体薄膜は最終的に電気的特性すなわちキャリアの移動度が高い半導体薄膜として形成される。

すなわち、第3図に半導体薄膜(1)例えば水素化シリコン薄膜(a-Si:H)に対してXeClエキシマレーザ光を照射した場合の、その照射レーザエネルギー密度と熔融後の固相化の膜厚に対する状態図、すなわち相図を示すように、曲線(31) ( $E_{01}$ に相当)で示すa-Si:H 120~150mJ/cm<sup>2</sup>以下のエネルギー密度のレーザ照射による場合は、a-Si:Hは何ら相変化を生じないが、120~150mJ/cm<sup>2</sup>を超えるすなわち曲線(31)以上のエネルギーによる照射で、かつ曲線(32) ( $E_{010}$ に相当)及び(33)より下のエネルギーによる照射による領域Iにおいては熔融後の相は、表面が滑らかで良質な結晶化された半導体薄膜となる。しかも膜厚が70nm程度以下では240mJ/cm<sup>2</sup>を超えるレーザエネルギーの照射によ

とするが半導体薄膜(1)中の揮発物を幾分なりとも蒸発できる例えば常温以上を与え得るエネルギー密度以上とする。

更に第1のレーザビーム部 $b_1$ よりステップ走査方向Yの後方側の第3のレーザビーム部 $b_3$ のエネルギー密度 $E_{03}$ は、しきい値 $E_{010}$ より低く、熔融化するエネルギー密度 $E_{02}$ 以上ですなわち

$$E_{02} \leq E_{03} < E_{010} \quad \dots (3)$$

で、しかもできるだけ $E_{010}$ に近い値に選定する。

#### 〔作用〕

上述の本発明方法による場合、その半導体薄膜(1)に対する第1の方向X方向に関する走査によってまず小さいエネルギー密度 $E_{01}$ を有するレーザビーム部 $b_1$ が照射され、これによって半導体薄膜(1)中の揮発性物質がゆるやかに引き出され、その後大なるエネルギー密度 $E_{02}$ を有する第1のレーザビーム部 $b_1$ が照射されることによって一旦薄膜(1)が非晶質化され、次に非晶質化するしきい値電圧 $E_{010}$ より低いもののそのエネルギー密

で特に60nm程度では300mJ/cm<sup>2</sup>程度の高いエネルギーで良質の半導体薄膜(1)の結晶化が行われる。しかしながらこの小なる膜厚範囲でその照射レーザエネルギー密度が曲線(32)以上で曲線(33)より下の領域IIにおいてはその固相後の半導体薄膜は良質の滑らかな膜質となるものの非晶質半導体薄膜となる。しかしながら、一旦この領域IIとなる条件下で熔融-固相が行われても再び領域Iとなる条件下で熔融-固相を行うときは領域Iの相、すなわち滑らかな結晶化がなされる。尚、曲線(33)より上方の領域IIIにおいては結晶化が生じるもののその表面が粗面化された電気的特性に劣る半導体薄膜となる。つまり、この曲線(33)が $E_{010}$ に相当する。

一方、半導体薄膜(1)の膜質は、その電気的特性、例えば電子移動度、電気伝導度と良く対応するものであることは知られているところであり、第4図に20nmの厚さの20%りん(磷)ドーブシリコン膜における電気伝導度と電子移動度の照射レーザエネルギー密度との関係の測定結果を示す。同図

において●及び○はその移動度の測定結果をプロットしたもので、★及び☆は電気伝導度の測定結果をプロットしたもので、これら測定結果をみて明らかなように、そのエネルギー密度を各熱処理で上げて行くと、それぞれ●印★で示すように、或るエネルギー密度の値、この例では $240\text{mJ}/\text{cm}^2$ において急激にその電子移動度及び電気伝導度が低下する。これは第3図で示した曲線(32)を境に領域Ⅰから領域Ⅱに転じていることを示すものであり、この急激に電気伝導度及び電子移動度が低下するエネルギー密度、つまり曲線(32)上の値が非晶質化するエネルギー密度のしきい値 $E_{01}$ となる。しかしながら、この非晶質化が発生しても、第4図において○及び☆におけるように再びこの非晶質化された半導体薄膜に対してそのしきい値エネルギー密度 $E_{01}$ 以下においてかつこれに近い温度の加熱を行う場合は、その移動度及び電気伝導度の極めて高いほとんど各ピーク値に相当する良好な半導体薄膜が生成されている。

すなわち、本発明によれば、第2のレーザビ-

ーム部 $b_1$ の走査によって半導体薄膜(1)に揮発性物質が存在する場合においてもこれをおだやかに放出、すなわち揮発させ、したがって良好な膜質の形成が行われると共に、次にしきい値エネルギー密度 $E_{01}$ 以上のエネルギー密度を有する第1のレーザビーム部 $b_1$ の照射によって一旦アモルファス(非晶質)化がなされ、次の第3のビーム部 $b_3$ の照射によって第2図で説明した曲線(21)と(22)に挟まれるなめらかな表面性を有し、しかも結晶化されたすなわち第3図における○及び☆の特性を得ることができるのである。

#### (実施例)

上述の本発明方法の実施例を説明する。

前述したように、第1図に示すように、半導体薄膜(1)例えば水素化非晶質シリコン $\text{a-Si:H}$ あるいは水素化非晶質ゲルマニウム $\text{a-Ge:H}$ 、もしくは $\text{ZnO}$ 、水素等を含む各種半導体薄膜、或いは水素等殆ど含まない半導体薄膜を基板(1)例えば石英基板上に $700^\circ\text{C}$ 程度以下の厚さをもってCVD(化学的気

相成長法)によって形成し、この半導体薄膜(1)にパルスレーザ(2)を照射して半導体薄膜(1)の溶融法による結晶化を行う。この半導体薄膜(1)に対するパルスレーザ(2)の照射は、第1の方向 $x$ に対する走査と、これと直交する第2の方向 $y$ に関するステップ走査による例えばジグザク走査によって行う。そして、 $y$ 方向に関してその照射パルスレーザ光(2)を第2図A及びBで説明したように3本のビーム部 $b_1, \sim b_3$ とするか、3本以上の例えば第5図に示すように5本のレーザビーム部 $b_1, \sim b_5$ によって構成する。このレーザビーム部 $b_1, \sim b_5$ の形成は、例えば第5図に示すようにレーザ $L_1$ から発射したパルスレーザビーム(2)を例えば4枚のハーフミラーHM及び1枚のミラーMによって5本のビーム部 $b_1, \sim b_5$ に分割し、各ビーム部 $b_1, \sim b_5$ に関してそれぞれ集光レンズ系( $L_1, \sim L_5$ )と、さらにフィルタ $F_1, \sim F_5$ とを設けて、それぞれ第5図で示したエネルギー密度分布を有し、それぞれ $y$ 方向ステップピッチ $p$ より小なる幅 $W$ のレーザ部 $b_1, \sim b_5$ を形成する。この場合、中央の

レーザビーム部 $b_1$ のエネルギー密度 $E_{01}$ を前述した非晶質化のしきい値 $E_{01}$ 以上の前記(1)式の条件に選定し、他のレーザビーム部 $b_2, \sim b_5$ に関してはこのしきい値 $E_{01}$ 以下のエネルギー密度に選定する。そしてこの場合第1のレーザビーム部 $b_1$ に対して $y$ 方向ステップに関して前方側でエネルギー密度が順次階段的に第1のレーザビーム部 $b_1$ に向かって増加する分布とし、その反対側すなわちステップ走査の方向 $y$ の後方において順次後方側に向ってエネルギー密度が低下する分布とし、特にビーム部 $b_1$ 及び $b_5$ について前記条件(2)及び(3)に設定する。この場合、第1のレーザビーム部 $b_1$ よりその前方側に位置するレーザビームに関して、半導体薄膜(1)の各位置において順次エネルギー密度が大きくなるビーム部 $b_1, \sim b_5$ が照射されて薄膜(1)中の揮発性物質が漸次おだやかに揮発し得るようにそのエネルギー密度の選定がなされる。そして同時に薄膜(1)の各位置においてビーム部 $b_1$ の照射によって一旦第3図で説明した領域Ⅱの相を形成し、ビーム部 $b_1$ より後方

例においてビーム部 $b_1$ が非晶質化しきい値 $E_{0.1}$ 以下ではあるもののこれに近いエネルギー密度に選定され、再びこのレーザビーム部 $b_1$ の照射によって第3図で説明した領域1を得る。図示の例では、第1のビーム部 $b_1$ を中心に対称的にそのエネルギー密度の選定をした場合である。また、これらエネルギー密度の分布は、前述したフィルタ $F_1 \sim F_5$ の透過率の選定によって形成し得る。

また、ビームスポット $S$ は、第2図Cに示すように、各ビーム部 $b_1 \sim b_5$ に関して $x$ 方向についても、フィルタ $F_1 \sim F_5$ の各透過分布を適当に選定することによって、走査方向 $x$ の前方から中央部に向ってそのエネルギー密度が漸次増加し、これより後方に向って漸次エネルギー密度が低められる階段的あるいは山型の分布となし得る。この方法による場合、半導体薄膜(1)中に揮発性物質が存在する場合において、その急激な揮発をよりゆるやかに揮発させることから、より膜質に優れた結晶化がなされる。

上述の本発明方法によれば、第1のビーム部 $b_1$ 、

の走査によって一旦非晶質化されて後、第3のビーム部 $b_3$ によって非晶質化のしきい値エネルギー密度 $E_{0.1}$ 以下でしかもこれに近い高いエネルギー密度 $E_{0.2}$ を与えるので、第4図で説明したように、より電気的特性に優れた半導体薄膜の結晶化を行うことができる。

第7図A及びBは、それぞれ $\alpha$ -Si:H薄膜(1)の厚さ $t$ を変えて本発明方法を実施したときの表面側からと裏側(石英基板(11)側)からの光反射スペクトルで、波長275nmに結晶Siの $E_g$ ピークが現れていて薄膜(1)が結晶化されていることがわかる。第7図Bの裏側からの光反射スペクトルでは $t > 70\text{nm}$ で $E_g$ ピークが現われないことから薄膜(1)と基板(11)の界面に非晶質層が残っていることがわかる。言い換えれば $t \leq 70\text{nm}$ では全体が結晶化できることがわかる。

尚、第2図C及び第5図ではエネルギー密度を中央を中心に対称的パターンとした場合であるが、上述の条件下で非対称とすることもできる。

また本発明方法は、水素を含むSi、Geに限らず

水素を殆ど含まないSi、Ge、または他の半導体薄膜に対する結晶化に適用することもできるものである。

#### (発明の効果)

上述したように本発明方法によれば、照射レーザエネルギー密度の分布をステップ走査方向 $y$ について階段的にかつ特定したことによって確実に電気的特性の良好な結晶化された半導体薄膜を再現性よく得ることができるものであり、またその分布を中央に向って大としたことによって $x$ 方向の走査線に多少の移動、すなわち“ゆらぎ”が生じても結晶化の阻害を回避できる。

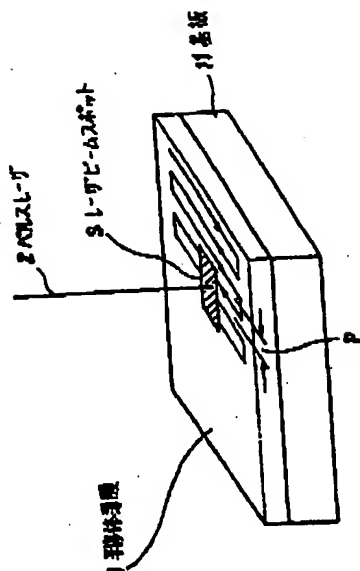
このように本発明によれば、半導体薄膜に対しすぐれた結晶化を行うことができることから、この薄膜を用いて薄膜トランジスタ素子等の各種特性に優れた半導体素子を形成でき、各種系積回路等の半導体装置の製造に適用してその利益は大である。

図面の簡単な説明

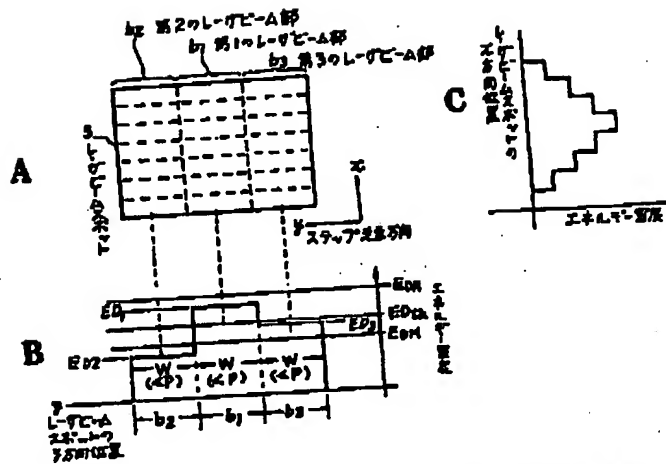
第1図は本発明方法の実施態様の一例を示す略線的斜視図、第2図A～Cはそのレーザスポットとエネルギー密度分布を示す図、第3図は半導体薄膜のレーザ照射による溶融後の相図、第4図は半導体薄膜の電気的特性と照射エネルギー密度との関係を示す曲線図、第5図は照射レーザスポットとエネルギー密度の分布の他の例の分布図、第6図はその分布を得る手段の一例の構成図、第7図A及びBは反射スペクトル図である。

(1)は半導体薄膜、(2)はパルスレーザ、 $S$ はレーザビームスポットである。

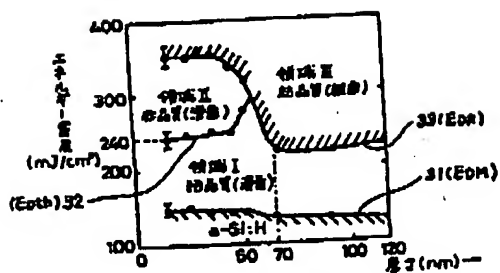
代理人 松隈秀盛



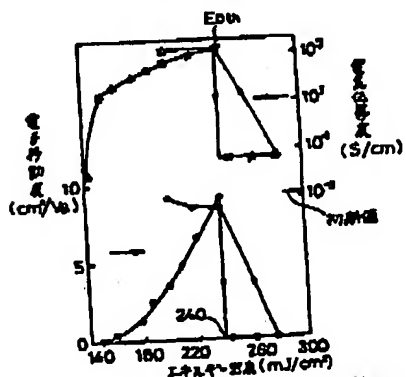
本発明方法のレーザービーム照射装置の一例を示す図  
第1図



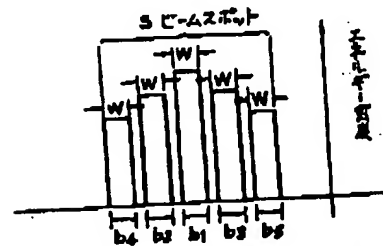
レーザースポットとそのエネルギー密度分布の関係を示す図  
第2図



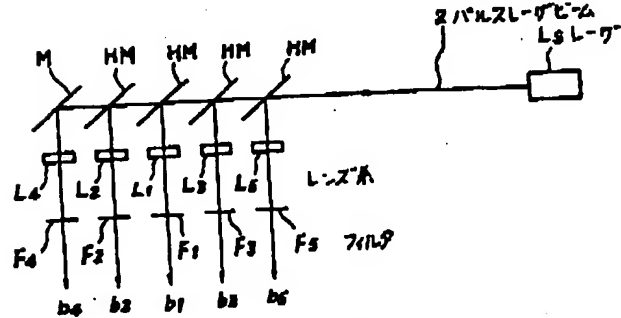
半導体薄膜の厚さ  
第3図



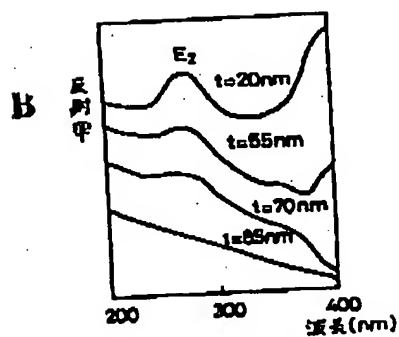
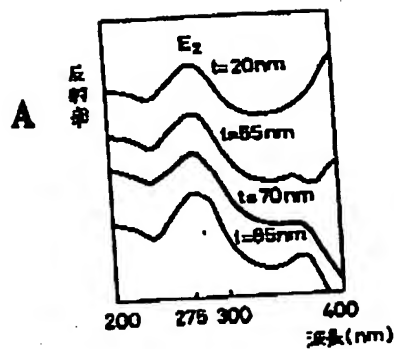
半導体薄膜の照射エネルギー密度と  
電気特性の測定結果を示す図  
第4図



レーザースポットのエネルギー分布図  
第5図



レーザービーム部の形成手段の構成図  
第6図



反射スペクトル図  
第7図



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**